

# Hyöty irti kierrätyslannoitteista – hyviä käytäntöjä

**Tuomas J. Mattila ja Jukka Rajala**





# Hyöty irti kierrätyslannoitteista – hyviä käytäntöjä

**Tuomas J. Mattila ja Jukka Rajala**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 34 | 2019

Suomen ympäristökeskus

Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Tuomas Mattila <sup>1)</sup> ja Jukka Rajala <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Suomen ympäristökeskus, <sup>2)</sup> Helsingin yliopiston Ruralia Instituutti

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö RAKI2

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Tuomas Mattila

Kannen kuva: Tuomas Mattila

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: [www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke) sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: [syke.juvenesprint.fi](http://syke.juvenesprint.fi)

ISBN 978-952-11-5067-8 (nid.)

ISBN 978-952-11-5068-5 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkok.)

Julkaisuvuosi: 2019

## TIIVISTELMÄ

### Hyöty irti kierrätyslannoitteista – hyviä käytäntöjä

Kierrätyslannoitteiden avulla voidaan kehittää maatalouden kannattavuutta ja maan kasvukuntoa. Hyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin uusien menetelmien opettelua. Yleisiin lannoitteisiin verrattuna monissa kierrätyslannoitteissa on erilainen ravinnekoostumus, ja useissa tuotteissa suurin hyöty saadaan sivuravinteiden ja kaliumin kautta. Kierrätyslannoitteiden käyttöön liittyy myös riskejä. Osa riskeistä liittyy suurten ravinnemäärien mahdollistamiin ravinne-epäsuhtiin, mutta monien tuotteiden osalta vakavampi riski liittyy maan tiivistymiseen. Maan tiivistymisen haitta voi olla suurempi kuin lannoituksen hyöty, jos tiivistymisriskejä ei oteta vakavasti. Toisaalta säännöllinen eloperäisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden käyttö voi lisätä maan tiivistymisenkestävyyttä. Tässä raportissa käydään läpi hyviä käytäntöjä kierrätyslannoituksen suunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan liittyen.

### Asiasanat:

kasvinravinteet, kasvintuotanto, lannoitteet, kierrätys

## SAMMANDRAG

### **Dra nytta av återvunnen gödsel – god praxis**

Återvunna gödselmedel kan förbättra lantbrukets lönsamhet och jordens bördighet. Att använda de nya gödselmedlen kräver dock nya färdigheter. Många återvunna gödselmedel har en annan sammansättning av näringsämnen jämfört med konventionella gödselmedel och många produkter ger den största nyttan via de sekundära näringsämnena och kaliumet. Användningen av återvunna gödselmedel innebär också risker. En del av riskerna är förknippade med näringsobalanser som kan uppstå på grund av stora mängder näringsämnen, men jordpackningen utgör en allvarligare risk när det gäller många produkter. Problemen som jordpackningen orsakar kan vara större än nyttan med gödslingen om risken att jorden komprimeras inte tas på allvar. Å andra sidan kan regelbunden användning av organisk gödsel och jordförbättringsmedel förbättra jordens resistens mot komprimering. Denna rapport presenterar god praxis för planering, implementering och övervakning av gödsling med återvunna näringsämnen.

### **Nyckelord:**

näringsämnen, växtproduktion, gödsel, återvinning

## ABSTRACT

### **Get the most out of recycled nutrients - good practices**

Recycled nutrients from manure and industrial by-products offer new options for improving farm profitability and soil health. However new fertilizers require learning new skills. Most new recycled fertilizers differ from currently used fertilizers in their nutrient composition. This presents challenges for planning fertilizer use. Many of the products have most of their nutrient value in side- and micro-nutrients as well as potassium. The increased use of recycled nutrients also involves risks, some of which are connected to potential nutrient imbalances from the over application of certain nutrients, but a more serious risk concerns soil compaction. Large material amounts present a high risk of soil compaction, which can hinder crop yields. However, regular use of organic fertilizers and soil amendments can increase the soil bearing capacity and reduce compaction risks. This report reviews good practices for planning, implementing and monitoring fertilizing with recycled nutrients. The aim is to help farmers maximize the benefits and minimize the losses when applying new products.

### **Keywords:**

nutrients, plant production, fertilizer, recycling





## ESIPUHE

Lannoittaminen on murroksessa. Kierrätyslannoitteita ja maanparannusaineita tulee markkinoille jatkuvasti. Toisaalta vuosikymmenten lannoituksen seurauksena maaperän ravinnepitoisuudet ovat nousseet tasolle, jossa entisenkaltainen ravinteiden lisäys ei ole enää tehokasta luonnonvarojen käyttöä. Viljelijöiden ja neuvojien käytössä on yhä enemmän tietoa lannoituksen suunnitteluun, mutta lannoitus on siitä huolimatta monimutkaista. Hyvässä lannoitussuunnittelussa yhdistetään tietoja maaperästä, kasveista ja lannoitteista siten, että saavutetaan mahdollisimman suuri hyöty viljelylle mahdollisimman pienillä haitoilla ympäristölle.

Tämän raportin tarkoituksena on tarjota hyviä käytäntöjä ja tukea viljelijöitä paremmassa lannoituksessa. Lähestymistapa on tieteellinen mutta käytännönläheinen. Tutkimustuloksia on koottu yksinkertaistetuiksi ”tee näin – älä tee näin” taulukoiksi ja kysymyslistoiksi, joiden avulla viljelijä voi välttää pahimmat kierrätyslannoitteiden karikot ja toisaalta saada suurimmat hyödyt lannoituksesta.

Raportti ja mallin kehitys on syntynyt yhteistyössä viljelijöiden, neuvojien ja projektityöntekijöiden kanssa. Hankkeella oli sidosryhmä, johon kuuluivat ProAgriasta Terhi Taulavuori, Pertti Savela, Pasi Hartikainen, Tero Tolvanen, Pekka Terhemaa, Iina Haikarainen ja Heikki Ajosenpää, Biolan Oy:stä Hanna-Maija Fontell ja Tuomas Peltö-Huikko, Humuspehtoori Oy:stä Suvi Mantsinen, Soilfood Oy:stä Sampo Järnefelt ja Juuso Joonas, Lantmannen Oy:stä Hanna Mäkinen, Karelia Ammattikorkeakoulusta Markku Huttunen ja Anssi Kokkonen, SYKEstä Jyri Seppälä, Tanja Myllyviita, Suvi Lehtoranta, Sampo Soimakallio ja Jaakko Karvonen sekä Helsingin yliopistosta Torsti Hyyryläinen ja Hanna-Maija Väisänen. Erityiskiitokset yhteistyöstä myös Ritva Mynttiselle (HY Ruralia Instituutti), ProAgrian neuvojille (Pekka Terhemaa, Pasi Hartikainen ja Tero Tolvanen) sekä lannoitussuunnittelun osaamisryhmien viljelijöille Kaakkois-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa. Kiitokset myös hankkeen valvojalle Arja Nykäselälle ympäristöministeriössä. Työ ei olisi ollut mahdollista ilman ympäristöministeriön projektia ja SYKE:n ja Soilfood Oy:n osarahoitusta projektille. Sidosryhmien kommentit auttoivat ja linjasivat työtä, mutta kirjoittajat vastaavat tekstistä ja johtopäätöksistä.

Toivottavasti raportti kannustaa hyödyntämään kierrätyslannoitteita entistä monipuolisemmin.

Lohjalla 25.7.2019, raportin tekijät

## SISÄLLYS

<b>Taustaa ja yhteenveto ohjeista .....</b>	<b>9</b>
<b>Kierrätyslannoitteet eivät ole pelkkää typpeä .....</b>	<b>11</b>
<b>Suunnittelu ja seuranta varmistavat tulokset .....</b>	<b>12</b>
Kierrätyslannoituksen suunnittelu lähtee hyvistä maanäytteistä .....	12
Levitysmäärän ja levitystasaisuuden mittaus .....	13
Lannoituksen vaikutusten havainnointi .....	14
<b>Kierrätyslannoitteiden hyödyt riippuvat lohkon viljavuudesta .....</b>	<b>16</b>
<b>Kokonaiskuva typen saatavuudesta; lannoitteesta vapautuva, maaperästä vapautuva ja jäännöstyyppi .....</b>	<b>17</b>
<b>Varo ravinne-epätasapainoa, seuraa tilannetta ravinnetaseella .....</b>	<b>19</b>
<b>Varo maan tiivistymistä .....</b>	<b>21</b>
<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>23</b>
<b>Kirjallisuutta .....</b>	<b>24</b>

# Taustaa ja yhteenveto ohjeista

LaPaMa eli 'Lannoita Paremmiin Malli' -hankkeessa kehitettiin hyviä käytäntöjä lannoitus suunnitteluun. Tässä luvussa esitetään raportin ohjeet tiivistetysti.

Kierrätyslannoitteiden avulla voidaan kehittää maatalouden kannattavuutta ja maan kasvukuntoa. Hyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin uusien menetelmien opettelua. Yleisiin lannoitteisiin verrattuna monissa kierrätyslannoitteissa on erilainen ravinnekoostumus, ja useissa tuotteissa suurin hyöty saadaan sivuravinteiden ja kaliumin kautta. Kierrätyslannoitteiden käyttöön liittyy myös riskejä, jotka liittyvät maan tiivistymiseen ja ravinne-epäsuhtiin. Maan tiivistymisen haitta voi olla suurempi kuin lannoituksen hyöty, jos tiivistymisriskejä ei oteta vakavasti. Toisaalta säännöllinen eloperäisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden käyttö voi lisätä maan tiivistymisenkestävyyttä.

LaPaMa eli 'Lannoita Paremmiin Malli' -hankkeessa kehitettiin hyviä käytäntöjä lannoitus suunnitteluun. Lannoituslaskurin ja kirjallisuuskatsauksen toteutuksen lisäksi lannoitus suunnittelua sovellettiin käytännössä viljelijäpienryhmissä. Ryhmien palautteen perusteella toivottiin käytännönläheistä, mutta perusteltua opasta kierrätyslannoitteiden käyttöön. Tämä lyhyt raportti pyrkii palvelemaan tätä tarkoitusta ja auttamaan viljelijöitä kierrätyslannoituksen käytännöissä.

Raportin ohjeet on kiteytetty yksinkertaistetusti alla olevaan taulukkoon (Taulukko 1). Eri kappaleissa syvennytään tarkemmin taulukon sisältöön ja annetaan perusteluja. Lopussa annetaan vinkkejä lisätietoihin (luvussa Kirjallisuutta), joista lukija pääsee perehtymään syvällisemmin lannoitus suunnitteluun ja lannoituksen hyviin käytäntöihin.

**Taulukko 1. Viljelijöiden toivomuksesta kiteytimme lannoitus suunnittelun yksinkertaiseksi käskylistäksi.**

	<b>Tee näin</b>	<b>Älä tee näin</b>
<b>Näytteet</b>	Ota edustavat ja toistettavat maanäytteet, analysoi myös hivenaineet ja hehkutushäviö. Varmista ravinteiden saatavuus kasvianalyysillä.	Tee vain minimimäärä, kun tukiehdot vaativat. Oleta, että heikko kasvu johtuu aina tyyppistä.
<b>Lohkokohtaisuus</b>	Suunnittele lannoitus lohkoittain. Huomioi kaikki ravinteet.	Kopioi lannoiteresepti toiselta tilalta tai lohkolta. Käytä kierrätyslannoitetta typpilannoituksen korvikkeena.
<b>Typpihuolto</b>	Perusta lannoitustarve lohkoon, esikasviin ja jälkivaikutukseen. Huomioi C:N suhde.	Lannoita varmuuden vuoksi. Käytä lannoitus suunnittelussa kokonaistyyppiä tai liukoista tyyppiä.
<b>Ravinnetase</b>	Käytä ravinnetasetta pitämään viljavuus tavoitetasolla.	Lannoita vain NPK:lla, kunnes ongelmia näkyy.
<b>Tiivistymisriskit</b>	Älä ylitä maan kuormituskestävyyttä, ajoita raskaat kuormat kesälevitykseen ja kasvipeitteelle.	Levitä kierrätyslannoitteita keväällä panostamatta rengastukseen.

Lannoitus on prosessi, jossa pienet yksityiskohdat voivat ratkaista lopputuloksen. Esimerkiksi lannoitelevittimen säädöt ja levitysyksikön rengaspaineet voivat ratkaista, saadaanko lannoituksella siinä määrin lisäsatoa, että se kattaa kustannukset. Hyvät kysymykset ovatkin usein maataloudessa tärkeämpiä kuin valmiit vastaukset. Kokosimme viljelijän avuksi joukon kysymyksiä, joiden avulla voi huolehtia lannoituksen käytännön onnistumisesta.

Kysymyksiä lannoitteen myyjälle:

- Mikä tuote sopii tämänlaisten kasvukunnon ongelmien kehittämiseen? Entä tällaiselle lohkolle?
- Millaiselle lohkolle tarjoamanne tuote sopii parhaiten? Millaisilla lohkoilla tuotetta on testattu? Ottaen huomioon maalaji, rakenne, viljavuus, viljelykierto ja biologinen aktiivisuus.
- Paljonko kierrätyslannoitteen mukana tulee orgaanista ainetta? Mikä on sen pysyvyys? Eli paljonko tällä voi lisätä multavuutta? Mistä tiedät?
- Miten suuri osuus kokonaistypestä on kasveille käyttökelpoista? Entä muista ravinteista (kuten rikki ja hivenet)? Mistä tiedät?
- Onko käytöstä todettu haittoja? Missä tilanteissa?
- Milloin tuotetta kannattaa käyttää? Ottaen huomioon kasvilajit, vuodenaika, ja viljelykierto.
- Mitä rajoitteita tuotteen käytöllä on: lait, asetukset, ehdot?
- Kuinka tuote toimitetaan? Aumaus? Tiivistymisriskit?

Kysymyksiä lannoitteen levittäjälle:

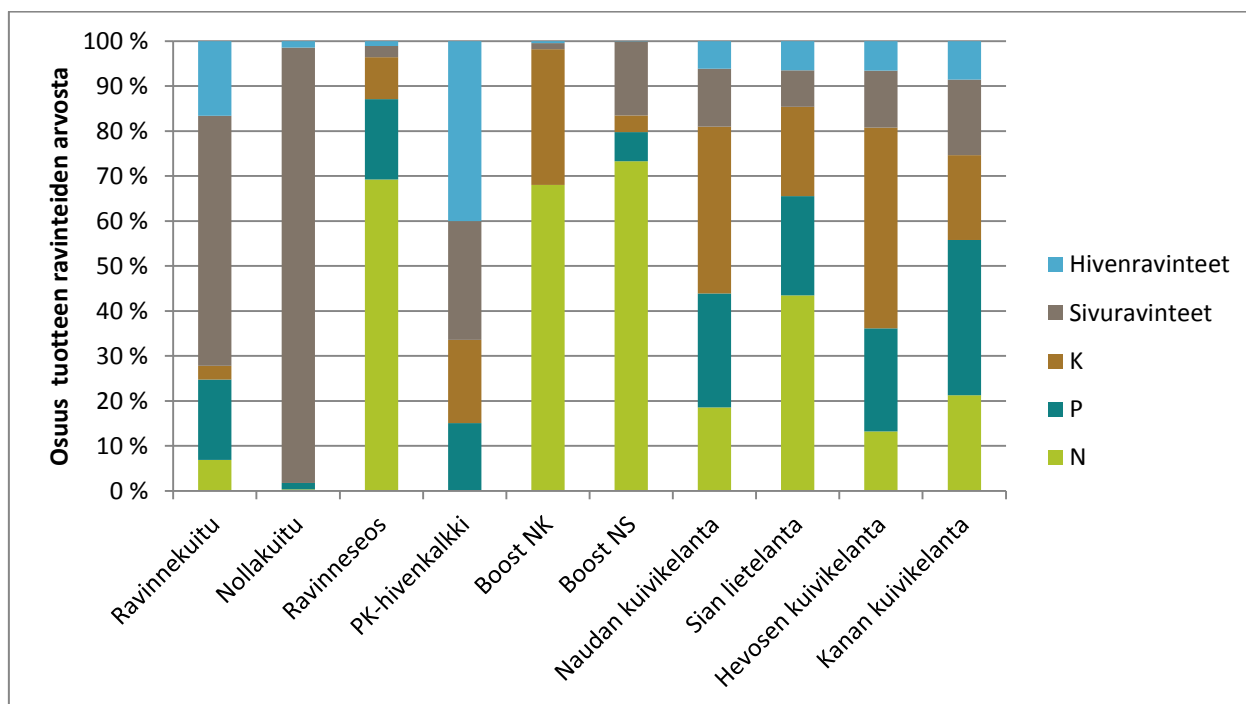
- Millaiset tiivistymisriskit levityksestä tulee? Mikä on rengaskuorma ja käytetty rengaspaine?
- Käytetäänkö ajo-opastinta?
- Kalibroidaanko levitysmäärä? Entä levitystasaisuus? Miten?
- Miten kuormaus tehdään? Missä kohdin lohkoa?

## Kierrätyslannoitteet eivät ole pelkkää typpeä

Ympäristökorvauksen raja-arvoista johtuen lantojen ja kierrätyslannoitteiden lannoitus suunnittelu on keskittynyt siihen, kuinka suuri osa fosforista ja typestä lasketaan käyttökelpoisiksi ja kuinka paljon niillä voidaan korvata muuta lannoitusta. Lannat ja kierrätyslannoitteet ovat kuitenkin monipuolisia työkaluja pellon ravinteisuuden ja kasvukunnon kehittämiseen. Jos niiden arvoa tarkastellaan niiden sisältämien ravinteiden taloudellisen arvon kautta (ts. kuinka paljon maksaisi, jos tuotteen sisältämät käyttökelpoiset ravinteet ostettaisiin väkilannoitteina), vain pieni osa kokonaisarvosta muodostuu typpeä (Kuva 1).

Lannoilla typen osuus kokonaisravinnearvosta on 15-40 % lantalajista riippuen. Osassa kierrätyslannoitteita typen arvo muodostaa suurimman osan tuotteen lannoitusarvosta (70 %), etenkin väkevien vinassien ja lietteiden osalta. Toisaalta osa kierrätyslannoitteista toimii maanparannusaineina, joissa tulee runsaasti hiven- ja sivuravinteita.

Ravinnehyötyjen lisäksi kierrätyslannoitteilla ja maanparannusaineilla voidaan vaikuttaa maan happamuuteen ja multavuuteen. Hajoavan orgaanisen aineen lisääminen peltoon lisää myös maan murustumista. Tuotteista saa suurimman hyödyn, kun niiden käytön kohdentaa lohkolle, jossa niiden sisältämiä ravinteita tarvitaan ja joka hyötyy multavuuden ja mururakenteen kehittämisestä.



Kuva 1. Pää-, sivu- ja hivenravinteiden osuus eri kierrätyslannoitteiden ja maanparannustuotteiden ravinteiden taloudellisesta arvosta. Näiden lisäksi monilla maanparannusaineilla on vaikeammin rahallisesti mitattavia hyötyjä kalkituksen ja multavuuden kehittämisessä.

# Suunnittelu ja seuranta varmistavat tulokset

## Kierrätyslannoituksen suunnittelu lähtee hyvistä maanäytteistä

Kierrätyslannoituksella pyritään korkeisiin satoihin ja tehokkaaseen resurssien käyttöön ja näiden avulla hyvään taloudelliseen kannattavuuteen. Jotta tavoitteisiin päästäisiin, tarvitaan suunnitelmallisuutta sopivan tuotteen löytämiseen, levityksen ajankohdan ja toteutuksen päättämiseen ja tulosten seurantaan.

Kierrätyslannoitteiden käytön suunnittelu lähtee viljavuusanalyysin tulosten tarkastelusta. Jotta viljavuusanalyysistä on hyötyä, näytteiden pitäisi edustaa aluetta, jolle lannoitusta tehdään. Päisteet, painanteet ja muuten erikoiset kohdat pellostakaan kannattaa määrittää erikseen tai mahdollisesti jättää lannoitus suunnittelussa huomiotta.

Oma ongelmansa tulee, kun suurilla kasvulohkoilla yhdistetään eri maanäytteitä. Jos esimerkiksi 15 hehtaarin lohkolle on kaksi maanäytettä, joista yhdessä fosfori on korkea ja toisessa fosfori on huononlainen, lopputuloksena on koko lohkolle keskimäärin 'tydyttävä-hyvä' fosforitaso. Lannoitus suunnittelua varten on parempi käsitellä lohkon osat erikseen, tai tehdä suunnitelma suurimman osan perusteella ja testata, miten hyvin se toimisi myös lohkon eri osilla. Joissain tapauksissa voi olla mielekästä levittää pienempi määrä lannoitetta koko lohkolle ja käydä levittämässä heikkokasvuisimmalle osalle päällekkäinen levityskerta. Etenkin maanparannusaineiden osalta tarkoituksena on tasoittaa lohkon eroja viljavuudessa nostamalla vähitellen viljavuusleimoja heikommissa osissa ja alentamalla niitä osissa, joissa pitoisuudet ovat jo korkeita.

Hivenravinteiden puutokset ovat suomalaisissa peltomaissa verrattain yleisiä, mutta niitä analysoidaan vähän (Taulukko 2). Vaikka hivenravinteiden pitoisuudet maassa ovat pieniä, niiden vaikutus kasvien satotasoon on sama kuin pää- ja sivuravinteilla. Samalla näytteenoton vaivalla kannattaa analysoida näytteistä myös hivenaineet (sisältäen boorin). Jos näytteiden perusteella löytyy puutteita, ne voidaan korjata lannoituksella, mutta lannoittaminen hivenlannoitteilla varmuuden vuoksi ei ole tehokasta resurssien käyttöä.

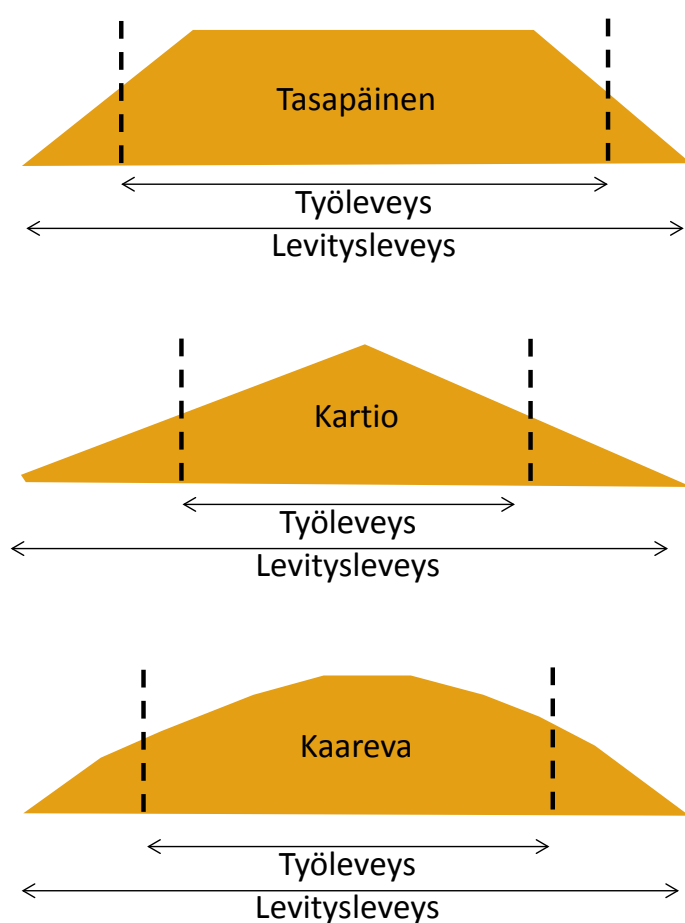
**Taulukko 2. Hivenravinteiden ja rikin puutteet eri näytteissä ja analysoitujen ravinteiden osuus kaikista näytteistä (Eurofins, 2012).**

Ravinne	Analysoitu osuus kaikista näytteistä (%)	Puutetta havaittu analysoiduista näytteistä (%)
Cu	43 %	29 %
Zn	43 %	40 %
Mn	43 %	56 %
B	6 %	55 %
S	99 %	30 %

Lisäysmääriä voi monen ravinteen osalta haarukoida muuttamalla maaperän ravinnepitoisuudet kokonaismääriksi. (Lähestymistapa ei toimi fosforilla, koska suomalainen viljavuusanalyysi mittaa helppoliukoisen fosforin osuutta. Jotta helppoliukoista fosforia saadaan nostettua 1 mg/l, tarvitaan moninkertaisia kilomääriä fosforia hehtaarille.) Koska 20 cm ruokamultakerros on tilavuudeltaan 2000 m<sup>3</sup>, niin kertomalla pitoisuudet (mg/l = g/m<sup>3</sup>) kahdella saadaan arvio kiloista hehtaarilla. Jos esimerkiksi rikin pitoisuutta halutaan nostaa 10 mg/l, tarvitaan noin 20 kg/ha rikkiä, olettaen että kaikki lannoitteen rikki on käyttökelpoista. Vertaamalla lohkon viljavuuslukuja esimerkiksi tyydyttävän-hyvän viljavuuden suosituksiin, voidaan haarukoida paljonko kullekin lohkolle olisi ravinteita syytä lisätä.

## Levitysmäärän ja levitystasaisuuden mittaus

Kun lohkolle on saatu hyvä suunnitelma, on seurattava, että peltoon todella päätyy suunnitellun verran ravinteita. Heikko levitystasaisuus voi sotkea pellon ravinnehuollon suunnittelun pitkäksi aikaa. Esimerkiksi, 35 tonnia/ha naudan kuivikelantaa sisältää 80 kg/ha kasveille käyttökelpoista typpeä, 40 kg/ha fosforia ja 180 kg/ha kaliumia. Jos levitys on epätasainen (Kuva 2) ja reunoille tulee esimerkiksi vain 25 t/ha ja keskelle 60 tonnia/ha lantaa, kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrät vaihtelevat rajusti. Keskellä levittimen levityskaistaa tai työleveyttä levitetystä lannassa on noin 140 kg/ha typpeä, 70 kg/ha fosforia ja 315 kg/ha kaliumia. Ylilannoitus heikentää lannoituksen tuottavuutta ja vaikuttaa sädön laatuun (lakoriski, rehun laatu). Lisäksi epätasaisen levityksen jälkeen seuraavalla näytteenottokieroksella maanäytteen tulos riippuu siitä, miltä osin levityskuviota näytteet on satuttu ottamaan.



Kuva 2. Kuivien tuotteiden levitys ei koskaan ole täysin tasaista. Kun levitysleveys valitaan siten, että sen laidoille tulee puolet tavoitetasosta, päällekkäisajolla saadaan tasainen lopputulos.

Kuivien lantojen ja maanparannustuotteiden levitystasaisuutta voi havainnoida esimerkiksi 1,2 m x 1,2 m pressuilla tai 0,3 m x 0,3 m ajoneuvon lattiamaton paloilla. Palan koko riippuu levitysmäärästä: 35 tonnin levitysmäärällä maton palalle tulee 0,315 kg tuotetta ja kuvatus kokoiselle pressunpalalle 5,04 kg. Havaintolevyt levitetään poikittain ajolinjaan nähden, esimerkiksi 2,5 metrin välein. Levylle kertynyt materiaali kerätään esimerkiksi ämpäriin ja punnitaan. Jos levityskuvio on symmetrinen molemmin puolin, oikea levitysleveys on kohta, jossa materiaalia leviää peltoon puolet siitä, mitä kärryn takana

leviää. Tällöin levityskuviot menevät päällekkäin ja kaikkialle päätyy suunnilleen sama määrä tuotetta (UGA Extension 2013). Jos materiaali on tasalaatuista ja levittimessä on vaaka (jolloin kokonaislevitysmäärä saadaan selville), ämpäriin punnitseminen voi olla tarpeetonta. Ämpäriin kertyneen tilavuuden perusteella voidaan arvioida levityskuvion kohta, jossa materiaalia on puolet keskikohtaan verrattuna. Levitystasaisuutta säädetään muuttamalla syöttönopeutta, luukkujen asentoa, vaihteistoa ja levityslaukasten nopeutta sekä voimanulosoton kierroksia. Kalibrointiin menee jonkin verran aikaa ja ajatuksia, mutta sillä varmistaa, että lannoitus on taloudellisesti järkevää ja sadon laatu säilyy hyvänä.

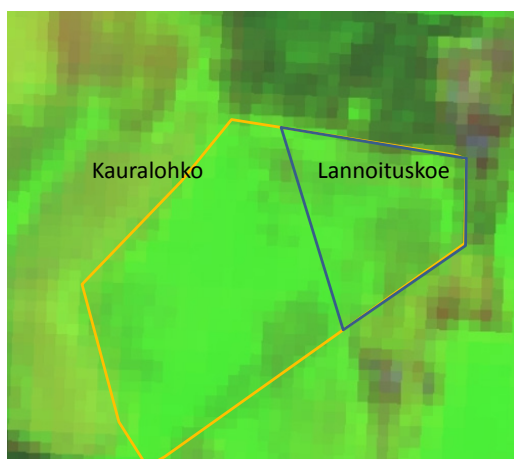


Kuva 3. "Kuramaton" pala helpottaa levitystasaisuuden havainnointia. Ruudutettu matto mahdollistaa myös väkilotteiden levitystasaisuuden havainnoinnin.

### Lannoituksen vaikutusten havainnointi

Huolellisesta suunnittelusta ja toteutuksesta huolimatta tarvitaan seuranta, jotta saadaan selville toimiko lannoitus halutulla tavalla. Havainnointia helpottaa, jos pellolle on jätetty käsittelemätön nollaruutu, tai jos lannoituksella on käsitelty selkeä kaista. Jos lannoituskoe on jätetty esimerkiksi lohkon pätyyn, voi olla vaikeaa tietää johtuuko ero kasvussa lannoituksesta vai eroista lohkon muissa ominaisuuksissa (Kuva 4). Useampi nollaruutu on myös hyödyksi siinä tilanteessa, että epäillään kierrätysravinteiden levityksen aiheuttaneen joitain ongelmia kasvin kehitykselle. Koska etenkin kiinteiden maanparannusainesten ja lannan levitys ei ole teräväräjaista (Kuva 2), nollaruutujen on oltava melko isoja (yli yhden levitysleveyden).

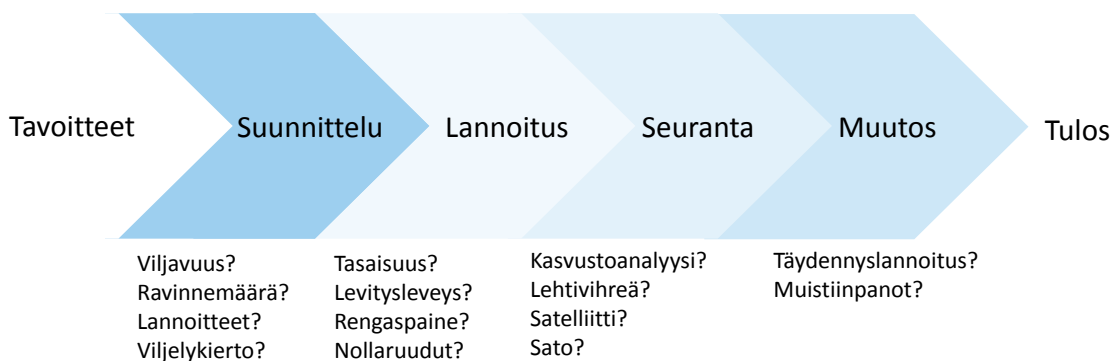




Kuva 4. Sentinel 2 -satelliitti tuottaa tarkkaa biomassakartoitusta muutaman päivän välein. Sen avulla voi katsoa, saatiinko lannoituksella selvä ero aikaan. Kuvan esimerkissä lohkon päässä lannoitetulla alueella on selvästi parempikasvuinen kohta, mutta ei voida olla varmoja, että parempi kasvu johtuu juuri lannoituksesta.

Monien kierrätyslannoitteiden ravinteet ovat orgaanisessa muodossa ja niiden vapautuminen riippuu eloperäisen aineen hajoamisesta. Mitä kosteampaa ja lämpimämpää sekä hyvärakenteisempaa maa on, sitä nopeammin hajotustoiminta etenee ja sitä enemmän ravinteita vapautuu (typen osalta tämä voi johtaa myös typen sitoutumiseen väliaikaisesti hajotukseen). Tämän johdosta etukäteen on vaikeaa päätellä, paljonko esimerkiksi jaetussa lannoituksessa voidaan vähentää typpilannoitusta kierrätyslannoitteiden jälkeen. Nollaruutujen ja kasvuston seurannan avulla voidaan tarkastella, paljonko lannoituksesta on vapautunut ravinteita ja kuinka paljon lisälannoitusta tarvitaan. Viime vuosina yleistyneet pikamittausmenetelmät tarjoavat typpilannoituksen tarkentamiseen runsaasti työkaluja (kasvianalyysi, lehtivihreämittaus, *N-sensor*, *Cropsat*). Olosuhteiden vaihtelun vuoksi kierrätyslannoitteista ei kannata myöskään tehdä lopullisia johtopäätöksiä yhden vuoden kokeilun perusteella. Kuivana ja kuumana vuotena tulokset ovat erilaisia kuin kylmänä tai kosteana vuotena.

Kierrätysravinteiden olosuhdeherkkyys tarkoittaa sitä, että viljelijän kannattaa varautua tekemään muutoksia suunnitelmaan seurannan perusteella. Etukäteen on vaikea arvioida, paljonko tyyppä lannoitteesta vapautuu, mutta esimerkiksi viljoilla pensomisen alussa ja lippulehtivaiheessa voi mitata, vaikuttaako kasvusto kärsivän typen puutteesta.



Kuva 5. Lannoituksen muutos kannattaa ajatella prosessina. Seuranta ja sen pohjalta tehdyt muutokset ovat avainasemassa siinä, että saadaan haluttu lopputulos.

## Kierrätyslannoitteiden hyödyt riippuvat lohkon viljavuudesta

Kierrätyslannoitteet ja maanparannusaineet kehittävät maaperän ravinteisuuden lisäksi maaperän multavuutta, happamuutta, mururakennetta ja vetovastusta sekä edistävät pieneliötoimintaa. Jotta kierrätyslannoitteista saadaan suurin hyöty maan kasvukunnon kehittämiseksi, niitä kannattaa käyttää lohkoilla, joissa on kehittämistarvetta. Jos kierrätysravinteita käytetään vain typpilannoituksen korvaamiseen, niiden hyödyistä saavutetaan vain murto-osa (Kuva 1).

Lannoissa suurin osa ravinteiden arvosta muodostuu fosforin ja kaliumin arvosta. Lantojen ja lantapohjaisten tuotteiden käyttö on järkevintä lohkoilla, joissa tarvitaan typen lisäksi myös fosforia ja kaliumia. Jos maaperässä on jo runsaasti fosforia, runsaskaliumiset tuotteet kuten puuntuhkat ja vinassit sopivat lohkolle parhaiten. Jos maaperässä on sekä fosforia että kaliumia jo runsaasti, voidaan käyttää joko typpipitoisia tuotteita typpilannoitukseen (NS-vinassi) tai ravinneriukkoja tuotteita (nollakuitu, biohiili) maan multavuuden ja rakenteen nostoon.

Päätöksentekoa voi helpottaa ryhmittelemällä tilan lohkot yksinkertaiseen nelikenttään, jossa vaakakselilla on fosforitaso ja pystyakselilla kaliumtaso (Taulukko 3). Ryhmittelyn avulla voi tunnistaa, mille lohkoille sopii minkä tyyppinen lannoite. Toisaalta, jos esimerkiksi lantaa on käytettävissä rajallinen määrä, se kannattaa kohdentaa lohkoille, jotka hyötyvät myös lannan sisältämästä kaliumista ja fosforista.

**Taulukko 3. Lohkojen ryhmittely yksinkertaiseen nelikenttään lohkon kaliumin ja fosforin viljavuuden perusteella voi selvittää, millaiset lannoitteet sopivat millekin lohkolle.**

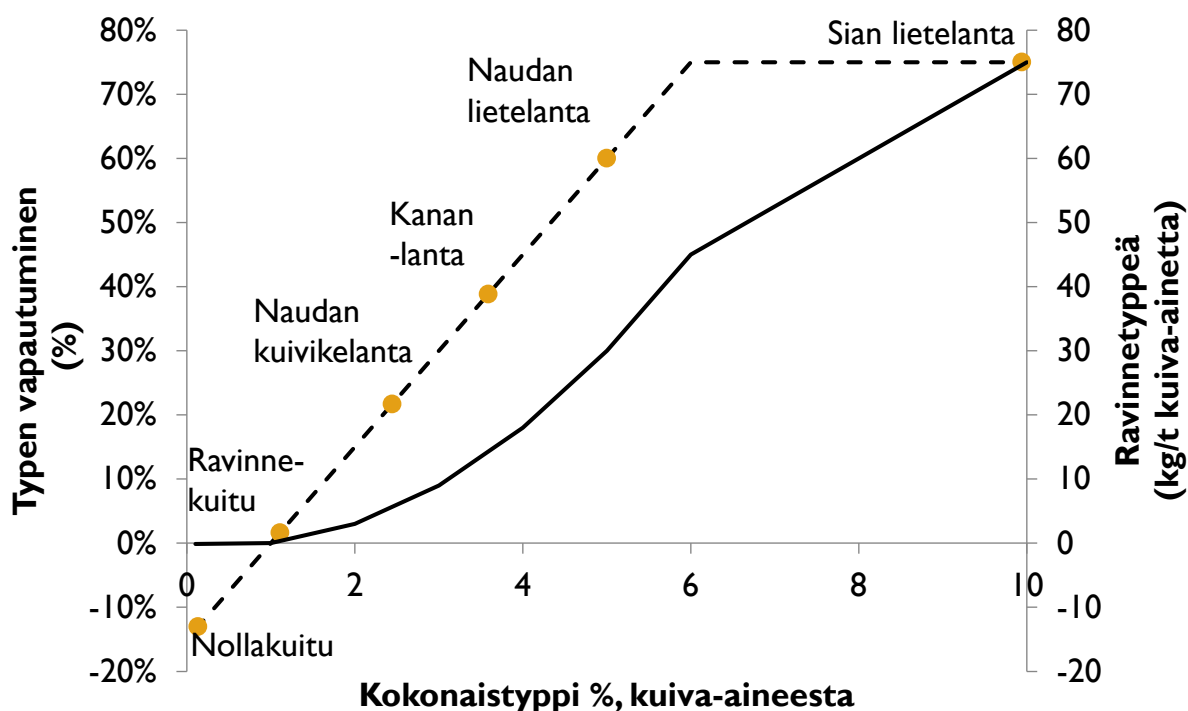
	<b>Fosfori P: huono-välttävä</b>	<b>Fosfori P: tyydyttävä-hyvä</b>
<b>Kalium K: huono-välttävä</b>	Lantapohjaiset tuotteet	Typpi-kali lannoitteet (vinassi), puuntuhkat
<b>Kalium K: tyydyttävä-korkea</b>	Lihaluujauho tms. korkean P/K suhteen ravinteet	Korkeatyppiset tuotteet lannoitukseen, ravinneriukat multavuuden nostoon

Monissa kierrätysravinteissa on vähän rikkiä ja booria suhteessa muihin ravinteisiin. Väkilannoitteissa molempia on yleensä lisätty. Mikäli siirrytään käyttämään enenevissä määrin kierrätyslannoitteita, kannattaa seurata maaperän rikki- ja booripitoisuuksia ja nostaa niiden pitoisuutta erikoistuotteilla (mm. vinassi, Rikkiviisas, kipsi, boorilannoite).

## Kokonaiskuva typen saatavuudesta; lannoitteesta vapautuva, maaperästä vapautuva ja jäännöstyyppi

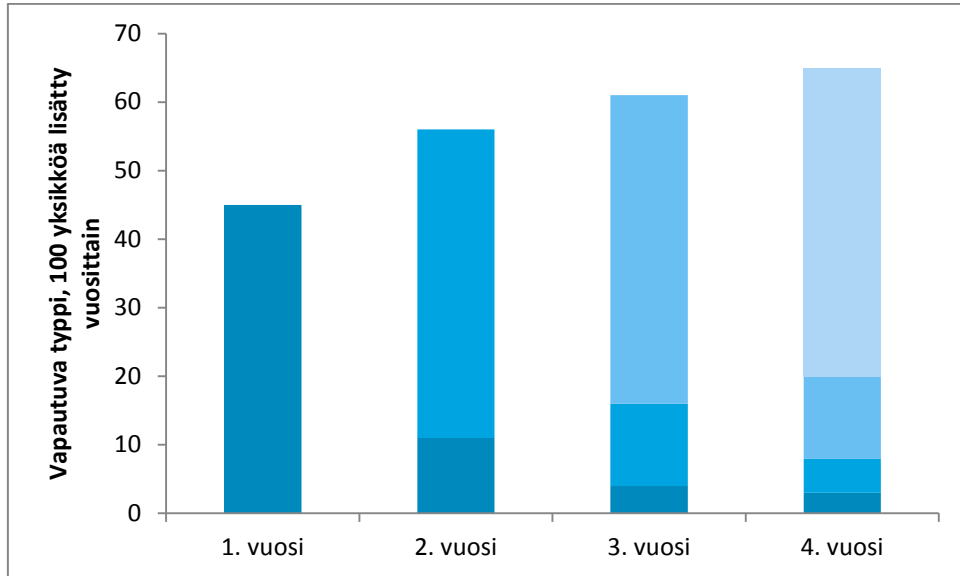
Kierrätyslannoitteiden typpisisältö ilmoitetaan kahdella luvulla. Liukoinen typpi on analyysissä mitattu liukoinen, heti kasveille käyttökelpoinen osuus. Kokonaistyyppi on tuotteen kokonaistyyppi, suhteutettuna tuotteen kokonaispainoon. Usein ajatellaan, että liukoinen typpi kuvaa kasville käyttökelpoista typpeä, mutta käytännössä typen saatavuuteen vaikuttaa myös orgaanisen aineen hajoaminen. Lähtötyppitilanteesta riippuen liukoinen typpi voi sitoutua hajotustoimintaan tai typpeä voi vapautua myös liukoista typpeä enemmän.

Eräs tapa hahmottaa typen vapautumista on määrittää eri tuotteille lannoituskorvausarvo (plant available nitrogen, PAN), jonka avulla arvioidaan, kuinka suuri osuus kokonaistypestä on kasvien käyttökelpoisessa muodossa yhden kasvukauden aikana (Kuva 6). Alhaisilla typpipitoisuuksilla kaikki lannoitteen typpi (myös lannoitteesta alun perin ollut liukoinen typpi) sitoutuu hajotustoimintaan ja kasva-vaan mikrobimassaan, ja esimerkiksi nollakuitu sitoo typpeä ympäristöstään. Vasta yli 1 % kokonaistyyppipitoisuudesta alkaen ravinteita alkaa vapautua. Noin 4 % typpipitoisuudella puolet kokonaistypestä on kasveille käyttökelpoista ja typen vapautuminen tasaantuu noin 80 prosenttiin yli 6 % typpipitoisuuksilla.



Kuva 6. Typen vapautuminen kierrätyslannoitteesta riippuu lisätyn lannoitteen typpipitoisuudesta (typen vapautuminen on kuvattu katkoviivalla, ja asteikko vasemmalla akselilla). Ensimmäisenä kasvukautena käytettävissä oleva ravinnemäärä (kg N/t) on kuvattu yhtenäisellä viivalla, ja asteikko on oikealla akselilla. Tulokset laskettu Sullivan ym. (2010) perusteella.

Osa lopusta tyypestä vapautuu vähitellen myöhemminä vuosina, loput varastoituvat pitkäksi aikaa maan multavuuteen. Toistuvassa käytössä lannoitusvaikutus kertyy, kun eri vuosina tehtyjen lannoitusten vaikutukset lisätään toisiinsa. Ilmiötä tarkastellaan jäännöstypen avulla (*residual nitrogen fertilizer value, RNFV*) (Kuva 7).



Kuva 7. Perinteinen tapa arvioida jäännöstypen arvo perustuu hajoamissarjaan, jossa tietynä vuonna lisätystä typpilannoitteesta vapautuu typpeä useana vuonna, mutta joka vuosi vähemmän kuin edellisinä vuosina. Jos lisäys toistuu vuosittain, vaikutukset lasketaan yhteen. Pitkäaikaisen lannan lisäyksen vaikutukset voivat kestää vuosikymmeniä.

Arviot jäännöstypen määrästä vaihtelevat lantalajista riippuen 12-30 % välillä. Maahan kertyneestä tyypestä vapautuvaan määrään vaikuttaa itse lannoituksen lisäksi myös maan lämpötila, kosteus, kaasujenvaihto, pieneliötoiminta ja kasvukauden pituus. Moniin näistä tekijöistä voidaan vaikuttaa viljelytoimilla. Kananlanta on hyvä esimerkki kierrätysravinteiden typpilannoitusvaikutuksesta ja sen ongelmista. Jos kananlannan avulla halutaan korvata 70 kg typpilannoitusta, ja 40 % kananlannan tyypestä vapautuu (kuva 5), niin tarvitaan esimerkiksi 175 kg kokonaistyppeä. Määrä on suurempi kuin nitraattiasetuksen sallima vuotuinen levitysmäärä (170 kg N/ha, 1250/2014). Kasvien käyttöön vapautuvan 70 kg/ha lisäksi maahan jää noin 105 kg/ha typpeä, joka vapautuu myöhemminä kasvukausina. Jälkivaikutuksena voi olla suuruusluokaltaan esimerkiksi 13 % (23 kg N/ha) alkuperäisestä kokonaistyypestä seuraavalle vuodelle, 8% sitä seuraavalle (14 kg N/ha) ja 6 % sitä seuraavalle (10 kg N/ha). Yhden levityksen seurauksena pärjätään pienemmillä typpilannoitustasoilla useampi vuosi.

Lannoitteista vapautuvan jäännöstypen lisäksi maaperässä on huomattavat typpivarastot. Jos esimerkiksi maaperän multavuus on 6%, ruokamultakerroksessa on noin 120 tonnia orgaanista ainetta, joka voi sisältää typpeä noin 6000 kg N/ha. Riippuen tästä vuosittain vapautuvasta osuudesta, peltoa voi eloperäisen aineen hajoamisen myötä vapautua 30-120 kg/ha typpeä. Typen vapautumisen arviointiin on kehitetty uusia maa-analyysimenetelmiä, mutta luotettavan arvion saa myös jättämällä peltoon typpilannoituksen nollaruudun ja mittaamalla, kuinka paljon typpeä kasvit ovat nollaruudulla saaneet otettua.

## Varo ravinne-epätasapainoa, seuraa tilannetta ravinnetaseella

Ravinnetase kuvaa peltoon lisättyjen ravinteiden ja sadon mukana poistuvien ravinteiden välistä erotusta. Ravinnetasetta on käytetty Suomessa erityisesti fosforilannoituksen seurantaan. Fosforin tasausjaksoilla voidaan lannoittaa yhtenä vuotena yli ympäristökorvausten rajojen, kunhan 5 vuoden jaksolla pitäydytään keskimäärin oikeassa tasossa. Samaa lähestymistapaa voi soveltaa muihinkin ravinteisiin.

Kierrätysravinteissa ei yleensä ole ravinteita samassa suhteessa kuin kasveissa. Tämä voi johtaa ravinteiden kertymiseen maahan. Jos lohkolla on jo valmiiksi puutetta jostain ravinteesta, kertyminen lisää vähitellen sen pitoisuuksia ja nostaa lohkon viljavuutta. Jos toisaalta ravinnetta on jo valmiiksi paljon, lisäys voi aiheuttaa ravinne-epätasapainoja.

Lantoja lisättäessä maaperään voi kertyä liikaa kaliumia ja fosforia. Kaliumin ylimäärä haittaa muiden ravinteiden ottoa, etenkin kalsiumin ja magnesiumin osalta. Fosfori haittaa lähinnä sinkin käyttökelpoisuutta sekä kasvien sienijuuren muodostumista. Kalkkistabiloiduissa lietteissä maahan tulee runsaasti kalsiumia, mikä voi heikentää magnesiumin, kaliumin ja boorin saatavuutta. Lisäksi maan pH voi nousta liiaksi, mikä heikentää mangaanin saatavuutta.

**Taulukko 4. Ravinteiden ylimäärät haittaavat toisten ravinteiden käyttökelpoisuutta.**

Ravinteiden liiallinen kertyminen	Aiheuttaa näiden ravinteiden puutetta
K	Ca, Mg
P	Zn
Ca	Mg, K, B
Mg	Ca, maan rakenne
Na	Ca, Mg, K, maan rakenne

Ravinnepoistuma voi olla hyvin erilainen erilaisilla viljelykierroilla (Taulukko 5). Viljakierroissa pelloilta poistuu lähinnä typpeä ja pienemmissä määrin kaliumia ja fosforia. Hivenravinteista sinkkiä poistuu noin 0,6 kg viidessä vuodessa, mikä johtaa vähitellen sinkkivarantojen hupenemiseen, ellei määrää palauteta. Avomaan vihannestuotannossa ravinnepoistumat ovat moninkertaisia etenkin kaliumin, rikin, magnesiumin ja hivenravinteiden osalta. Ylläpitolannoitus tulisi suhteuttaa ravinnepoistumaan, jotta maaperän viljavuus pysyisi yllä. Jos peltoa lannoitetaan yksipuolisesti typellä, fosforilla ja kaliumilla, sivu- ja hivenravinteiden pitoisuudet laskevat ja toisaalta pääravinteita voi kertyä tarpeeseen nähden liikaa.

**Taulukko 5. Ravinnepoistuma viisivuotisessa vihanneskierrossa (peruna-peruna-porkkana/sokerijuurikas-ohra) ja viljakierrossa (ohra-ohra-ohra-ohra-ohra) sekä ravinnepoistuman taloudellinen arvo laskettuna edullisimmalla yksiravinnelannoitteella. Laskemisessa on käytetty Lannoita paremmin (LaPaMa) -hankkeessa kehitettyä laskuria (<https://luomu.fi/tietopankki/lannoitaparemmin/>).**

	Ravinteiden poistuma vihanneskierrossa kg/ha/viisi vuotta	Ravinteiden poistuma viljakierrossa kg/ha/viisi vuotta	Ravinteiden arvo €/kg	Edullisin ravinnelähde
Fosfori P	120	72	1,9	Starttifosfori
Kalium K	877	100	0,7	Kaliumsuola
Kalsium Ca	47	6	0,15	Kalsiittikalkki
Magnesium Mg	67	24	0,6	Dolomiittikalkki
Rikki S	65	24	0,3	Ammoniumsulfaatti
Kupari Cu	0,225	0,08	15	Kuparisulfaatti
Sinkki Zn	1,175	0,6	8	Sinkkisulfaatti
Mangaani Mn	1,7	0,2	5	Mangaanisulfaatti
Boori B	0,38	0,08	14	Boorilannoite
Typpi N	697	404	0,8	Urea

Koko ravinnepoistuman arvo on edullisimmilla yksiravinnelannoitteilla laskettuna vihanneskierrossa 1493 €/ha/viisi vuotta (299 €/vuosi) ja viljakierrossa 561 €/ha/viisi vuotta (112 €/vuosi). Todelliset lannoituskustannukset riippuvat siitä, korvataanko kaikkia ravinteita ja mikä on käytetyn lannoituksen kustannus ravinnekiloa kohden.

## Varo maan tiivistymistä

Väkilannoitteisiin verrattuna monet kierrätyslannoitteet ovat ravinnepitoisuuksiltaan laimeita, joten levitysmäärät ovat suuria. Tavallisella lannan levityskalustolla tehtynä levitykseen liittyy suuri tiivistymisriski (suuret rengaskuormat).

Maan tiivistymistä on tutkittu laajalti. Maan haitallinen tiivistyminen heikentää keskimäärin satotulosta välittömästi tiivistymisen jälkeen noin 20-30% ja tämän jälkeen noin 5% pysyvästi. Joissain tilanteissa sadonmenetys voi olla suurempikin. Yhdellä raskaalla ajolla on saatu aikaan pohjamaan tiivistymiä, jotka ovat olleet havaittavissa vielä vuosikymmeniä ajon jälkeen. Sadonmenetys voi olla paljon merkittävämpi haitta kuin mitä lisälannoituksella voidaan saavuttaa, joten tiivistymisen välttäminen on erittäin tärkeää myös kierrätyslannoitteiden käytössä.

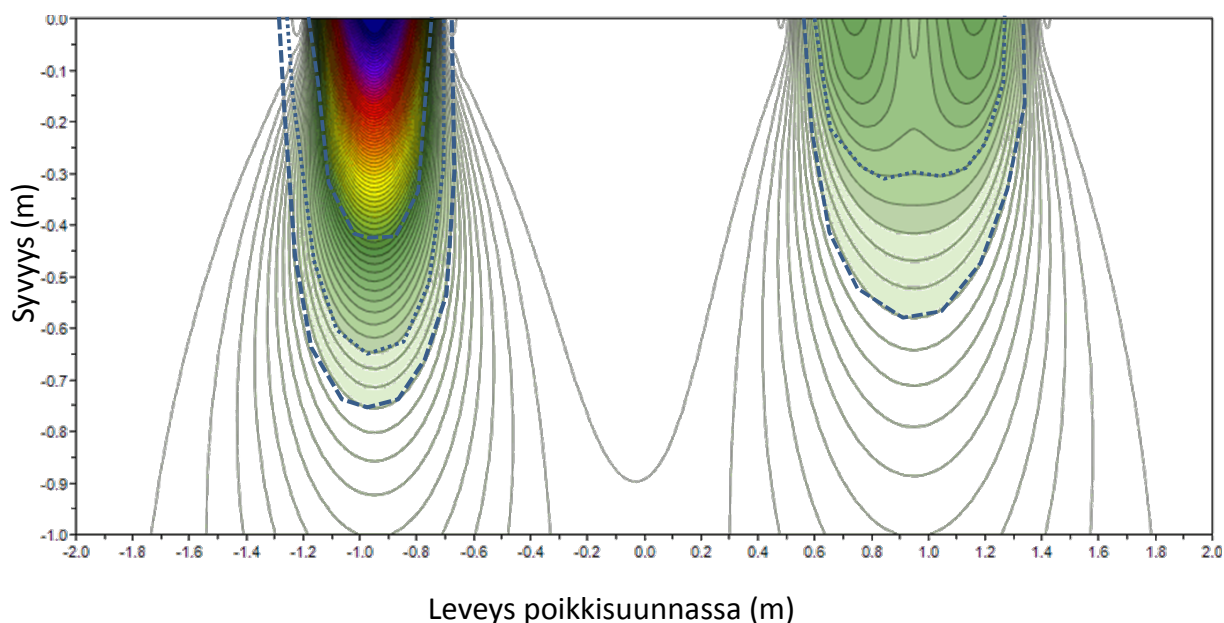
Tiivistyminen tarkoittaa maan huokostilavuuden pienenemistä, kun maahiukkaset painautuvat tiiviimmin toisiaan vasten. Lisäksi maamurujen rakenne voi tiivistyä siten, että niiden huokoisuus pienenee. Seurauksena juuristolle käytettävissä oleva maatilavuus pienenee ja maan kyky johtaa happea ja vettä vähenee. Maa kykenee vastustamaan tiivistymistä tiettyyn pisteeseen asti, ennen kuin rakenne alkaa muuttua. Tiivistymistä voidaan välttää pitämällä maan kuormitus selvästi alhaisempana kuin maan kuormituskestävyys.

Maan kuormitus koostuu rengaspaineesta ja rengaskuormasta. Mitä suurempi rengaskuorma, sitä alhaisempi rengaspaine (ja sitä suurempi kosketusala ja pintapaine) tarvitaan samaan maaperäkuormitukseen. Tästä johtuen tehokkain tapa vähentää kuormitusta on lisätä koneiden renkaiden määrää. Teli- pyörillä, paripyörillä ja ylimääräisillä akseleilla voidaan lisätä samaa kuormaa kantamaan useampi rengas, jolloin rengaskuorma laskee. Alempi rengaskuorma mahdollistaa samalla myös alemmat rengaspaineet. Alentamalla rengaspainetta suurennetaan edelleen renkaan kosketuspintaa maan kanssa ja vähennetään pintapainetta. Suurempi kosketusala ei kuitenkaan täysin kompensoi korkeaa rengaskuormaa, sillä painevaikutus summautuu syvemmällä maassa.

Maan kuormituskestävyyttä voidaan parantaa antamalla maan kuivua. Maan kuivuessa sen huokosto kestää suurempaa kuormitusta luhistumatta. Etenkin rutikuivan savimaan kuormankantokyky on moninkertainen kosteaan tai helposti muokkautuvaan saveen nähden. Parhaiten maa kuivuu, kun se on kasvillisuuden peittämää ja haihdutus on voimakasta. Lisäksi juuret voivat suojata jossain määrin maata tiivistymiseltä. Pienimmät tiivistymisriskit viljelykierrossa tulevat nurmikasvustoon ajettaessa kesä- kesällä ja aikaisten syysviljojen korjuun jälkeen. Heti sadonkorjuun jälkeen haihdutus kuitenkin vähe- nee ja maan kosteus taas nousee, joten aikaikkuna ei ole suuri. Aikaikkunaa voi suurentaa käyttämällä viljan korjuun jälkeen kasvavia alus- ja kerääjäkasveja, jotka jatkavat haihduttamista myös sadonkor- juun jälkeen. Talvehtivilla kerääjäkasveilla (esimerkiksi ruis) voidaan myös kuivattaa maata keväällä ja vähentää tiivistymisriskejä tällöin. Paras ajankohta raskaalle kuormitukselle on kuitenkin, kun pelto on rutikuiva tai umpijäässä. Esimerkiksi ravinneköyhien maanparannusaineiden kuljetus pellolle valmiiksi talvella roudan aikaan suojaa maata tiivistymiseltä. Ravinnerikkailla tuotteilla huuhtoumariskit ovat kuitenkin suuria sulamisvesien yhteydessä. Kuivaan aikaan levitys onnistuu useimmilla tuotteilla, kun levitys suunnitellaan viljelykierron vaiheeseen, jossa on syysviljoja tai nurmia.

Maan tiivistymisen arviointiin on kehitetty viljelijätyökaluja. Terranimo-laskurilla voidaan arvioida erilaisia tilanteita maan tiivistymisen kannalta ja vertailla erilaisten rengasvaihtoehtojen ja työvaiheiden vaikutusta maan tiivistymisriskeihin (Kuva 8).

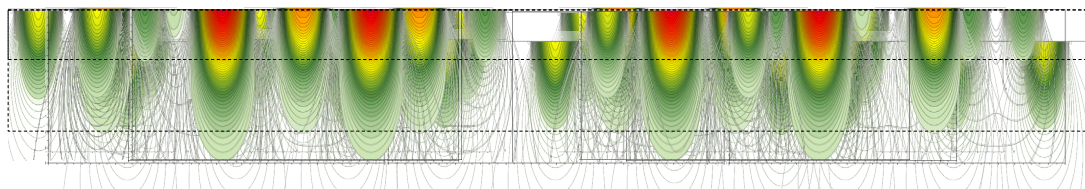




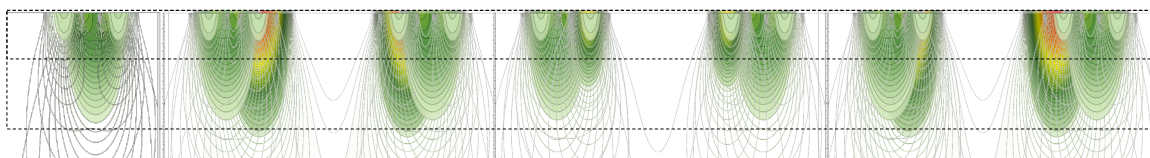
Kuva 8. Matalapainerenkailla voidaan vähentää kuormitusta maaperään merkittävästi. Vasemmanpuoleinen rengas esittää nykyrengasta ja oikeanpuoleinen matalapainerengasta. (Piirretty terranimo.world –laskurin tulosten perusteella; laskennassa käytetty lannanlevitintä 3500 kg rengaskuormalla. Katkoviivat kuvaavat tasoa, jossa maahan kohdistuu alhainen tiivistymisriski, kohtalainen tiivistymisriski ja korkea tiivistymisriski. Huonompi rengas aiheuttaa tiivistymisriskin 0,7 m syvyyteen.)

Jos tiivistymisriskejä ei saada poistettua, raskas liikenne kannattaa keskittää tietyille ajourille. Ajo-opastimilla saadaan keskitettyä ajot aina samoille raiteille. Tällöin kannattaa hyödyntää myös mahdollisuus siirtää muukin raskas liikenne (noukinvaunu, paalain, sadonkorjuu) samoille raiteille. Työkoneiden leveyttä muuttamalla voidaan vaikuttaa paljon koko tilan tiivistymisriskeihin.

Nykytilanne: 1,6 m kyntö, 6 m lietevaunu, 3,8 m puimuri, 4 m kylvökone, 6 m äes, 15 m ruisku



Ehdotus: 4 m kevytmuokkaus, 8 m lietevaunu, 4 m puimuri, 4 m kylvökone, 6 m äes, 16 m ruisku



Kuva 9. Esimerkki tiivistymisriskeistä tilalla nykytilanteessa sekä sen jälkeen kun koneiden työleveydet on sovitettu toisiinsa ja rengasvarustusta päivitetty. Mitä suurempi kuormitus, sitä lämpimämpi värisävy. Värisävyt samat kuin edellisessä kuvassa.



## Johtopäätökset

Kierrätysravinteiden avulla voidaan saavuttaa monia hyötyjä maan kasvukunnon ja viljavuuden kehittämisessä. Toisaalta uusien menetelmien käyttöönottoon liittyy opettelua ja riskejä. Kierrätyslannoitteiden ravinnesuhteet poikkeavat aiemmin käytetyistä väkilannoitteista ja toisaalta suurten massojen siirto voi lisätä maan tiivistymistä. Toisaalta uusien menetelmien käyttöönotto tarjoaa mahdollisuuden päivittää koko tilan ravinnehuoltoa ja vähentää myös tiivistymisriskejä hyvän suunnittelun avulla. Keinot jotka mahdollistavat menestyksekkään kierrätyslannoituksen (suunnittelu, seuranta, havainnointi ja hyvät käytännöt) hyödyttävät samalla muutakin tilan toimintaa.

# Kirjallisuutta

- Hochmuth, G. ja Hanlon, E. 2010. Principles of sound fertilizer recommendations. University of Florida, IFAS Extension SL315.
- LaPaMa laskuri ja lannoitus suunnittelun ohjeet: <https://luomu.fi/tietopankki/lannoitaparemmi/> , viitattu 29.7.2019.
- Mattila, T.J. 2019. Lähestymistapoja lannoitus suunnitteluun - kierrätysravinteiden haasteita. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2019. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/302787> .
- Mattila, T.J., Manka, V. ja Rajala, J.. 2018. Pikamenetelmät kasvin ravinnetilan kuvaajana. Raportteja 185, Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/250553> .
- Mattila, T.J. ja Rajala J.. 2018a. Kationinvaihtokapasiteetin määrittäminen ja käyttö viljavuusanalyysin tulkinnaissa. Raportteja 179, Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/236559> .
- Mattila, T.J. ja Rajala J. 2018b. Miten välttää maan haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla? Raportteja 175, Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/232490> .
- Ravander, J., Mattila, T.J., ja Rajala, J.. 2019. Murukestävyys maan kasvukunnon mittarina. Raportteja 191, Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/298966> .
- Sullivan, D.M., Andrews, N.A., Luna, J.M. ja McQueen J.P.G, 2010. Estimating N Contribution from Organic Fertilizers and Cover Crop Residues Using Online Calculators. Teoksessa *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science; Soil Solutions for a Changing World*. International Union of Soil Sciences, 2010.
- Worley, J.W., Wilson, M., Sumner, P.E., Bass, T.M., 2014. Calibration of Manure Spreaders. University of Georgia Extension, Circular 825. [https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20825\\_3.PDF](https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C%20825_3.PDF) , viitattu 30.7.2019.





**ISBN 978-952-11-5067-8 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-5068-5 (PDF)**

**ISSN 1796-1718 (pain.)**

**ISSN 1796-1726 (verkkoj.)**